



TITLE:

博士論文概要

AUTHOR(S):

CITATION:

博士論文概要. Cue 2002, 10: 34-53

ISSUE DATE:

2002-12

URL:

<https://doi.org/10.14989/57845>

RIGHT:

博士論文概要

【課程博士一覧】

周 軍	「Harmonic Analysis of Linear Continuous-Time Periodic Systems」 (線形連続時間周期系における調和解析)	平成14年 3 月 25 日
蛭原 義雄	「LMI-Based Multiobjective Controller Design with Non-Common Lyapunov Variables」 (非共通のリアプノフ変数を用いた線形行列不等式に基づく多目的制御器設計)	平成14年 3 月 25 日
山向 幹雄	「A study on reaction mechanisms in chemical vapor deposition of (Ba,Sr) TiO ₃ films for Gbit-scale DRAM capacitors」 (ギガビットスケールDRAMキャパシタ用 (Ba,Sr) TiO ₃ 薄膜の化学気相成長における成膜反応機構に関する研究)	平成14年 3 月 25 日
百瀬 俊	「Spectroscopic Study on Metalorganic Chemical Vapor Deposition Mechanisms of Barium Strontium Titanate Films」 (チタン酸バリウムストロンチウム薄膜の有機金属化学気相堆積過程に関する分光学的研究)	平成14年 3 月 25 日
沖野 裕丈	「強誘電体PZTのMOCVD薄膜における電気的特性に関する研究」	平成14年 3 月 25 日
大前 邦途	「非線形光学分光法を用いたGaN系半導体の光物性に関する研究」	平成14年 3 月 25 日
勝田 稔三	「生体画像情報精度向上のための撮像システムの解析と構築」	平成14年 3 月 25 日
大林 史明	「エネルギー教育のための情報ネットワーク利用による学習支援法に関する研究」	平成14年 3 月 25 日
山本 倫也	「エネルギー技術の教育と訓練のための分散型仮想環境の構成手法に関する研究」	平成14年 3 月 25 日
達本 衝輝	「Heat Transfer from Flat Plates in Pressurized He II」 (加圧超流動ヘリウム中の平板発熱体における熱伝達特性)	平成14年 3 月 25 日

堺 公明	「高速炉の冷却系に関する伝熱・流動研究」	平成14年 3 月 25 日
古本 淳一	「Observation of Turbulence Echo Characteristics and Humidity Profiles with the MU Radar-RASS」 (MUレーダー・RASSによる乱流特性および水蒸気プロファイルの観測)	平成14年 3 月 25 日
浜津 享助	「Development of Doppler Radars for Studying Aviation Weather in Terminal Area」 (ターミナルエリアの航空気象研究のためのドップラーレーダーに関する開発的研究)	平成14年 3 月 25 日
黒部 憲一	「Inherent Electrical Properties of Polycrystalline Silicon Solar Cells and Application for Thin Film Structures」 (多結晶シリコン太陽電池に固有な電気特性の解明と薄膜構造への応用)	平成14年 5 月 23 日
永里 善彦	「企業における社会との共生型事業展開のための社会情報技術の適用方法に関する研究」	平成14年 5 月 23 日
Tri Wahyu Hadi	「A study of tropical sea-breeze circulation using boundary layer radar data」 (境界層レーダーを用いた熱帯の海陸風循環の研究)	平成14年 7 月 23 日
種田 和正	「Internet Traffic Control for Best-Effort and Guaranteed Services」 (ベストエフォートおよび保証サービスのためのインターネットトラフィック制御)	平成14年 9 月 24 日

周 軍（萩原教授）

「Harmonic Analysis of Linear Continuous-Time Periodic Systems」
 （線形連続時間周期系における調和解析）」

平成14年 3 月 25 日 授与

周期時変の特徴のある機器、設備および産業プロセスが急速に社会の様々な面に現れてきた。例えば、日常生活に欠かせない交流発電機、運輸や救援活動に重要な役割を果たしているヘリコプタなどである。実際には、周期時変システムの例は、我々のまわりをとりまく自然界にも数え切れないほど存在している。周期時変制御系の研究はすでに制御理論の重要な分野の一つとなっている。本研究は、周期関数の Fourier 解析に基づいて作用素理論の視点から、一般的な有限次元線形連続時間周期系（以下では FDLCP システム：finite-dimensional linear continuous-time periodic system と略称）における解析問題について論じたものである。この解析法を簡単のため調和解析法と呼ぶ。調和解析法を取り入れる動機は、線形システムの周波数応答に関する考察からである。よく知られているように、LTI (linear time-invariant) システムの周波数応答は、入力为正弦波のとき定常状態での出力も正弦波となり、両者の周波数が同じであることに基いて定義されているが、FDLCP システムではシステムの周期性のために、このような性質が成り立たない。すなわち、角周波数 ω_u の正弦波入力に対する FDLCP システムの出力には無限個の角周波数 $\omega_u + k\omega_h$ (ここで k は整数； ω_h はシステムの周期に対応する角周波数) をもつ正弦波成分が含まれるという現象が起きる。もう少し厳密に考えると、角周波数 ω_h の入力正弦波だけでなく、 ω_u に ω_h の整数倍を加えた異なる角周波数の入力正弦波であった場合にも、上と全く同じ無限個の正弦波成分がシステムの出力には含まれることになる。このことに着目すれば、周期系に対しても l_2 という無限次元の Hilbert 空間上で周波数応答作用素が定義できる。本論文では、そのようにして定義した周波数応答に基づいて FDLCP システムの性質を解析することを目的としている。特に、周波数応答作用素の基本性質とそれに関連する H_2 ノルムと H_∞ ノルムの定義、並びに、各々のノルムの時間領域計算式と周波数領域計算式間での等価性の証明が与えられている。一方、FDLCP システムの漸近安定性に関する調和リアプノフ方程式という作用素型リアプノフ方程式も同じ調和解析法によって導かれている。調和リアプノフ方程式は無次元 LTI システムの作用素リアプノフ方程式の形になっているため、理解しやすく、物理的な意味が明確になる。これによって、FDLCP システムの漸近安定性の本質的な時不変特性が明らかにされた。調和リアプノフ方程式のもう一つの重要な役割は、FDLCP システムの性能指標である H_2 ノルムの計算公式が、この方程式に基いて与えられることである。

これらの理論成果の数値計算とそれに関連する収束性の議論も本研究の重要な内容となっている。具体的には、調和リアプノフ方程式を用いて、FDLCP システムの近似モデルに基づく安定判別法が提案される。 H_2 ノルムと H_∞ ノルムの計算法についても考えている。ここで、 H_2 ノルムと H_∞ ノルムはそれぞれシステムの LQG (Linear Quadratic Gaussian) 最適制御に関する指標とシステム入出力のゲイン特性を示すシステムの性能指標という実質的な意味があるが、周波数応答が無次元作用素であることから、ノルムの値を直接計算することは不可能となる。そこで、本論文では周波数応答の斜め打ちきり法という新たな方法も導かれている。この方法では、FDLCP システムの H_2 ノルムと H_∞ ノルムをある有限次元 LTI システムの H_2 ノルムと H_∞ ノルムの計算問題に変換し、漸近的に任意精度で計算できる。この方法の利点は周波数応答作用素の行列表現が Fourier 解析から容易に計算できるため、計算に必要な有限次元 LTI モデルが簡単に得られることである。このような考え方は FDLCP システムの H_2 ノルムと H_∞ ノルムを一定の範囲内に抑える H_2 または H_∞ 設計問題を解決する上で重要な意味を持っている。

蛭原 義雄（萩原教授）

「LMI-Based Multiobjective Controller Design with Non-Common Lyapunov Variables」

（非共通のリアプノフ変数を用いた線形行列不等式に基づく多目的制御器設計）

平成14年3月25日授与

制御系の構築においては、所望の制御仕様を満足するように制御器（controller）を設計することが重要な問題となる。制御仕様とは、設計者が制御器の設計時に考慮すべき条件であり、機械システムにおいては高い速応性を実現することや正確な位置決めを可能とする

ことなどが例としてあげられる。近年制御系に要求される制御性能はよりいっそう高度なものとなっており、そのような高度な制御仕様を達成すべく数値最適化手法を用いた制御器の設計に関する研究が盛んに行われている。本論文は、数値最適化手法に基づく制御器の設計において重要な役割を果たしている線形行列不等式（Linear Matrix Inequality; LMI）に関して、それを複数の制御仕様を同時に満足する制御器を設計する問題（多目的制御器設計問題）に適用する上で解決すべき課題の制御理論の見地からの考察を行ったものである。

多目的制御器設計問題の本質的な難しさは、この問題が数値的求解が困難な非凸最適化問題に帰着される点にある。これは単一の制御仕様を満足する制御器の設計問題がLMIで表現される凸最適化問題に帰着され、したがって所望の制御仕様を達成する制御器のパラメータの大域的最適値を数値的に容易に求めることができる点とは大きく異なっている。このような非凸性に起因する数値的求解の難しさを回避するために、多目的制御器設計問題に対する従来の研究においては、個々の設計仕様をLMIで表現するために導入されるリアプノフ変数を全ての設計仕様に対して共通とするという解法が提案されてきたが、この解法においては設計結果が保守的となるという問題がある。本論文においては、設計結果の保守性をできる限り低減することを目的として、各設計仕様に対して非共通のリアプノフ変数を許容しつつ多目的制御器設計問題を凸最適化問題に帰着させるためのいくつかの手法を提案している。なかでも論文の後半においては、従来の研究とは異なる新たな視点から、各設計仕様に対する伸張型線形行列不等式表現（dilated LMI）を導き、伸張型線形行列不等式表現に基づく新たな制御器設計の枠組を構築している。伸張型線形行列不等式は標準的な線形行列不等式と比較していくつかの特長を有する形で導出されており、伸張型線形行列不等式を用いることで多目的制御器設計問題を非共通のリアプノフ変数を用いて直接凸最適化問題に帰着することが可能となっている。また、本論文では、伸張型線形行列不等式表現が多目的制御器設計問題のみならず標準的な線形行列不等式表現では取り扱いが困難である問題、例えば不確かなパラメータを有する制御対象に対して一定の制御性能を保証する制御器の設計問題に対しても非常に有効であることを示している。論文中では伸張型線形行列不等式表現の有用性について十分に論ずることができてはいないが、その後の研究により伸張型表現の他の設計問題を扱ううえでの有用性、新たな可能性が明らかとなりつつあり、現在伸張型線形行列不等式に基づく制御器設計のさらなる進展を目指して研究を進めている。

山 向 幹 雄（橘教授）

「A study on reaction mechanisms in chemical vapor deposition of (Ba,Sr) TiO₃ films for Gbit-scale DRAM capacitors」

（ギガビットスケールDRAMキャパシタ用（Ba,Sr）TiO₃薄膜の化学気相成長における成膜反応機構に関する研究）

平成14年3月25日授与

この論文は、化学気相成長法（CVD）法による高誘電率材料（Ba, Sr）TiO₃[BST]薄膜の成膜反応機構に関してまとめられたものです。論文には、私が三菱電機先端技術総合研究所にて遂行したCVD-BST技術開発に関する内容、及び、本大学大学院電子物性工学専攻の博士後期課程で行った基礎研究の内容を掲載しております。

BST薄膜は次世代のDRAMキャパシタ用絶縁材料として期待されています。BST膜の形成方法としては、有機溶媒に溶かした有機金属錯体を原料とする溶液気化CVD法が注目を集めております。しかし、現状の技術レベルは量産にはほど遠く、良好な特性の膜を安定に供給できるに至っておりません。これは、原料として用いている有機金属錯体が複雑な構造を有しており、成膜前駆体の挙動を予測するのが困難なため、プロセス制御がままならないのが主な原因と考えられます。従いまして、CVD-BST技術を量産レベルに仕上げるには、その成膜反応機構を明確にして、精細なプロセス制御を行うことが必須となります。以上の背景をふまえて、本研究ではCVD-BSTの成膜機構に関しまして、特に成膜前駆体の挙動に注目しながら、解析を進めました。

代表的なCVD-BST用の原料として、Ba(DPM)₂, Sr(DPM)₂, Ti(i-PrO)₂(DPM)₂があります。これらを用いて段差基板上へBaO, SrO, BSTの成膜を試みたところ、BST膜ではBaO, SrOよりも段差底部での膜厚が大きく、段差被覆率（段差底部での膜厚/段差上部での膜厚）が増加することが判明しました（図1）。すなわち、Ba, Sr, Ti原料が共存する成膜の場合、成膜前駆体の膜表面での付着確率が低下し、段差の底深くまで入り込むようになったものと考えられます。そこで、“膜表面でTi成膜前駆体がBa, Sr成膜前駆体の吸着を阻害して付着確率を低下させる”という機構を取り入れた成膜モデルを仮定しました。このモデルを基に、複数の異なる成膜条件に対して数値シミュレーションを行い、段差被覆率を計算しました。その結果、全ての成膜条件に対し、実験結果と一致する計算値が得られ、本研究で構築したCVD-BST成膜モデルの妥当性を確認することができました。

更に、これら成膜機構に関する検討での知見を基に、CVD-BST成膜技術の改善を進め、0.35 μmスケール相当のDRAMキャパシタを試作しました（図2）。ここでは、BST層の形成時におけるBa, Sr, Ti原料の供給量を2段階に分けて調整することで、膜厚方向の組成と結晶性が均一な膜を作成することに成功しました。このキャパシタで、実デバイスへの適用可能な電気特性が得られています。最後に、本研究で得られた知見が今後のCVD-BST成膜技術の進展に役立ち、本技術の量産化が実現されることを願いながら、御世話になった先生方に感謝の意を表し、論文紹介の締めくくりと致します。

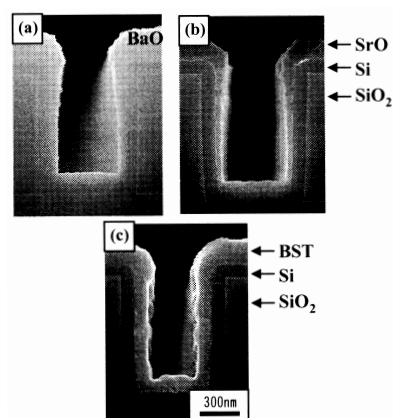


図1 CVD膜の段差被覆性
(a) Bao, (b) Sro, (c) BST

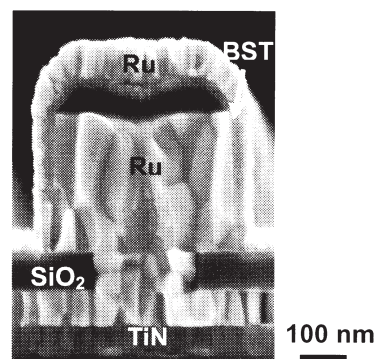


図2 試作したBSTキャパシタ

沖 野 裕 丈 (松重教授)

「強誘電体PZTのMOCVD薄膜における電気的特性に関する研究」

平成14年3月25日授与

強誘電体材料は、「自発分極を持ち、外部電界によりその分極方向が反転できる」という強誘電性だけでなく、圧電性、焦電性、電気光学効果、非線形光学効果といった実に多様な性質や現象が見られることが知られている。現在、これらの特性を生かした様々な薄膜デバイス（図1）が提案され、研究開発が進められている。

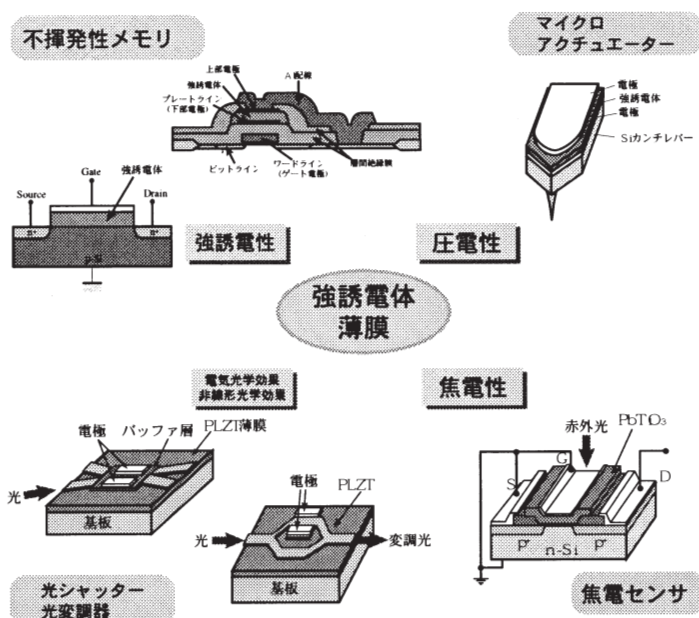
本研究は、このように高機能集積回路デバイスにおけるキーマテリアルである強誘電体に関して、なかでも代表的な材料であるジルコン酸チタン酸鉛（PZT）薄膜について、様々な応用の場面で問題となりうる漏洩電流、分極反転疲労、応力による特性劣化といった問題を取り上げ、測定方法・評価技術を検討してそれらの現象に対するモデルと強誘電体薄膜デバイスの設計指針について提案することを目的とした一連の研究成果をまとめたものである。

まず、PZT薄膜キャパシタ中の電流輸送機構を考察するために、一般的な積層電極構造に加えて櫛形電極構造を有する試料の電流－電圧特性を計測した。PZT薄膜の電気伝導特性を複雑にしている要因を排除した系である櫛形試料の電流－電圧特性から、櫛形試料の電流輸送はPZT内でのドリフトを考慮したショットキー放出電流モデルを用いて説明できることを見出した。加えて、電流－電圧特性から算出されるPZT薄膜の動的誘電率により、キャリア注入界面における電界強度についての知見が得られることを明らかにした。得られた知見から、PZT薄膜キャパシタの電流－電圧特性を改善するためには、電極／強誘電体界面の誘電率を制御することが重要であることを示した。

次に、熱刺激電流法による強誘電体中のトラップ電荷測定を試み、分極反転処理によるスイッチング電荷量の減少とPZT薄膜キャパシタ内のトラップ電荷密度との間に明確な相関があることを示した。熱刺激電流法による強誘電体中のトラップ電荷測定結果から、トラップ電荷には分極反転疲労の進行とともに徐々に増加し界面近傍に偏在するトラップ電荷と、疲労がある程度進行した後急激に増加しPZT薄膜全体に分布しているトラップ電荷との二種類があることを示した。このことから、強誘電体の分極反転疲労現象が（１）電極界面付近への欠陥蓄積による強誘電ドメインの核生成・成長抑止、（２）電極近傍の低誘電率劣化層が原因でおこるPZTへの電荷注入およびPZTの部分分極状態によるバルクのドメインピンング、という二段階を経ると結論付けた。

さらに、強誘電体薄膜の結晶と基板との格子不整合が電気的特性におよぼす影響を調べるために、エピタキシャル成長させたPZT薄膜の結晶状態とその誘電的および強誘電的特性をエネルギー分散型全反射X線回折法および櫛形電極を用いて手法で評価し、膜厚と内部応力の緩和および誘電諸特性に深い相関があることを明らかにした。

さらに、強誘電体薄膜の結晶と基板との格子不整合が電気的特性におよぼす影響を調べるために、エピタキシャル成長させたPZT薄膜の結晶状態とその誘電的および強誘電的特性をエネルギー分散型全反射X線回折法および櫛形電極を用いて手法で評価し、膜厚と内部応力の緩和および誘電諸特性に深い相関があることを明らかにした。



大 前 邦 途（藤田茂教授）

「非線形光学分光法を用いたGaN系半導体の光物性に関する研究」

平成14年3月25日授与

屋外大型フルカラーディスプレイ、交通信号機をはじめ液晶ディスプレイのバックライトなどに多用されている青色・緑色・白色発光ダイオード、更には次世代DVD用400nm帯レーザなどの半導体光デバイスは、現在GaN系半導体材料が使用され、産業上重要な位置を占めている。しかしながら、光デバイス材料としての新光機能の可能性、あるいは既存のデバイスの高性能化・高効率化を図るには、この材料系の詳細な光物性の解明、結晶学的なミクロ・ナノ構造とマクロな光物性との相関の詳細な解明が不可欠である。本論文はこのような観点に立ち、非線形光学分光法をこの半導体系の高密度励起下での発光機構を中心とする光物性解明の手段として応用すること、および、非線形光学効果による新機能光デバイスへの応用の可能性に関する基礎的知見を得ることを目的として研究したもので、得られた主な成果は以下の通りである。

1. GaN半導体固有の非線形光学効果を明らかにするため、高品質GaN単結晶薄膜試料を用い、高密度励起下でフォトルミネセンスと縮退4光波混合の測定を行った。その結果、励起子多体効果によるバンドギャップ以下のエネルギーからの強い非線形信号を観測し、GaNが非線形光学効果を持つこと、および、GaN系が透過型配置の高効率非線形光材料として大きな可能性を有することを明らかにした。
2. 混晶の組成揺らぎ効果を考慮する必要のないGaN単層膜について、光物性に与える内部電界効果に関する知見を得るという観点から、白色ポンプ・プローブ法によるダイナミックな励起子吸収測定を行った。この結果、励起直後には観測されなかった励起子吸収が、励起後30ps以降で大きく観測されることを見出して、内部電界効果により抑制されていた励起子吸収が、光励起で生成されたキャリアによる内部電界の遮蔽により強く観測されるようになること、この内部電界の遮蔽には深い準位にトラップされたキャリアが関与しているとするモデルで観測された現象を矛盾なく説明できることを示した。
3. InGaN膜における光物性を支配する主要因が、Inの組成揺らぎに基づく励起子の局在か、内部電界効果に基づくかを明確にするために、InGaN活性層のIn組成が同じで、膜厚が異なる4試料に関して励起子の局在と内部電界の効果の量子井戸幅依存性を調べた。その結果、井戸幅が5nm以下の場合には局在励起子が、井戸幅が5nmを越える場合には内部電界効果が、それぞれInGaNの光物性を支配することを明確にした。
4. レーザダイオード（LD）構造で用いられているInGaN量子井戸構造において、超高速時間分解フォトルミネセンス測定を行い、極低温と室温での誘導放出ダイナミクス実験を行った。その結果、400nmのLDでは、低温において誘導放出のピーク波長の低エネルギー側に、約30ps程度の誘導放出としては長い発光寿命を観測した。この現象は励起子が局在することによるエネルギーおよび空間的揺らぎが発生して、励起子と光とが弱結合するためと仮定すれば観測した長寿命が説明できることを示した。一方、室温においてはほぼ10ps以下の短い寿命を観測して、誘導放出機構には局在励起子は関与していない可能性を示した。さらに、活性層のIn組成が大きな440nmLD構造においては、室温においても誘導放出に局在励起子が関与していると考えられる長い発光寿命を観測し、In組成の揺らぎが内包する可能性を指摘している。

以上のように、本研究で得られた結果は、GaN系半導体の基礎的光物性解明に寄与しただけでなく、非線形光デバイスや発光デバイスの高性能化・高効率化への基礎的知見を得るという所期の目的を達成したものといえる。

勝 田 稔 三（英保教授）**「生体画像情報精度向上のための撮像システムの解析と構築」****平成14年 3 月 25 日 授与**

高精度の臨床画像情報の取得には、被検者の状態の固定が欠かすことのできない要素である。本研究は、医療画像撮像機器の運用において、呼吸に依存する画像情報精度の劣化防止のために、種々の臨床データを利用して、統計的な検討を行い、呼吸停止位相を含めた撮像システムの高信頼度化に関する解析と提案を行ったものである。

まず、撮像中の臓器の位置状況を解析するために、過去の診断用画像を用いて、呼気位および最大吸気位での呼吸停止中の横隔膜移動について、その移動方向と大きさについて分析をおこない、肝血管DSAや肝CT撮像には呼気位呼吸停止を適用するのが人工像発生の抑制や、高精度の画像計測には適していることを明らかにした。

次に、呼気位呼吸停止と最大吸気位呼吸停止にて撮像した画像の比較に基づき、アナログ肝血管造影でのX線強度補償フィルタの有効度について検討し、最大吸気位呼吸停止での撮像でも問題ないが、少しの移動でも人工像として表出されるDSA肝血管造影画像では、呼気位呼吸停止での画像が有意に良いということを明らかにした。

さらに、呼吸停止行動時間を分析することにより、撮像初期の横隔膜の呼吸性移動による人工像を減少させる手法について考察を加え、酸素吸入が呼吸停止時間を延長させることは、すでに知られているが、人工像発生を抑制することができるかどうかを検査時の酸素吸入の有無による比較実験を行った。呼吸停止方法にはまだ問題は残るが酸素を吸入させることにより撮像後半の横隔膜移動防止に対応できることを示した。平均的な安静呼気位の残気量では20秒の呼吸停止は困難と考えられるので、該当する検査においては酸素吸入を施行することが望ましく、また、CTやMRIなど呼吸停止を利用する検査にも酸素吸入を適用することにより、画像における人工像発生の抑制効果があることを明らかにした。

次に、CT画像を用いた肺の画像診断処理や、画像による肺容積の計測精度の向上を画像データ取得の段階での向上を検討するため、最大吸気位における呼吸停止中の肺野面積の変化と横隔膜移動を明らかにし、撮像手技について検討を加えた。食道ガン検査時に撮像されていた過去の画像データを用いて、統計解析を行い、同一被検者で、間欠的ダイナミックスキャン画像と連続ヘリカルスキャン画像の撮像データを用いて検討した。呼吸停止から20秒以上経過した時の画像と呼吸停止から1、4、7秒後の画像で同一部位に対応する各2組の画像を取り出し比較することにより、1秒後および4秒後の画像と20秒以上経過した画像との肺野面積には統計的有意差があり、7秒後の画像との比較では、有意差はないという結果が得られた。このことから、肺の容積計測や全肺のルーチン検査の時は、肺が最大限拡張したときに撮像する必要があるので、呼吸停止直後に肺底部から肺尖部にかけてスキャンするのが良く、含気量が呼吸位相によりあまり影響を受けない中肺野等の部位において、肺の動きを最低限にして、微細な構造を画像診断する場合や、腫瘍の自動診断等には、呼吸停止から7秒以後にスキャンを開始するのが良いことを示した。

大 林 史 明（吉川榮教授）

「エネルギー教育のための情報ネットワーク利用による学習支援法に関する研究」

平成14年3月25日授与

エネルギー問題は21世紀に入りますますその深刻さを増し、また環境問題も逼迫し、それらの解決は急務とされています。これらの問題解決にあたっては、単に技術革新の取り組みだけではなく、人類共通の課題として専門家のみならず一般の多くの人が問題意識をもつことが不可欠とされています。実際、省エネルギーや身近な環境への取り組みなどの他、エネルギー・環境施策へのコンセンサスなど、エネルギー問題の解決への取り組みは、多くの人の参画がなくてはなしえないものとなってきました。また高度科学技術に対する社会的信頼も絶対的なものではなく、双方向リスクコミュニケーションの必要性が説かれるなど、今後の共生社会実現のためにも、市民参画の仕組みが重要となってきました。しかしこうしたエネルギー関連分野は客観的知識と幅広い視野からの展望をもつことが重要な問題領域であり、そのための知識基盤が不可欠です。

本論文はこれらの状況を背景に、情報ネットワークを利用したエネルギー教育の新しい学習支援法に関する研究をまとめたものです。主な内容は、学習支援の要素を「知識獲得支援」「理解・習熟支援」「基礎能力育成支援」の3つの観点から捉え、それぞれの特質を分析し、効果的な学習支援を行うための新しい手法を提案したものです。

また具体的な学習課題に対して、エージェント技術などを用いて学習支援環境を構築するとともに、生理指標などを用いた学習支援システムの総合的評価手法を開発し、エネルギー教育のフィールドワークを通じて、これらの評価を行い、また今後のエネルギー教育のあり方を検討しました。

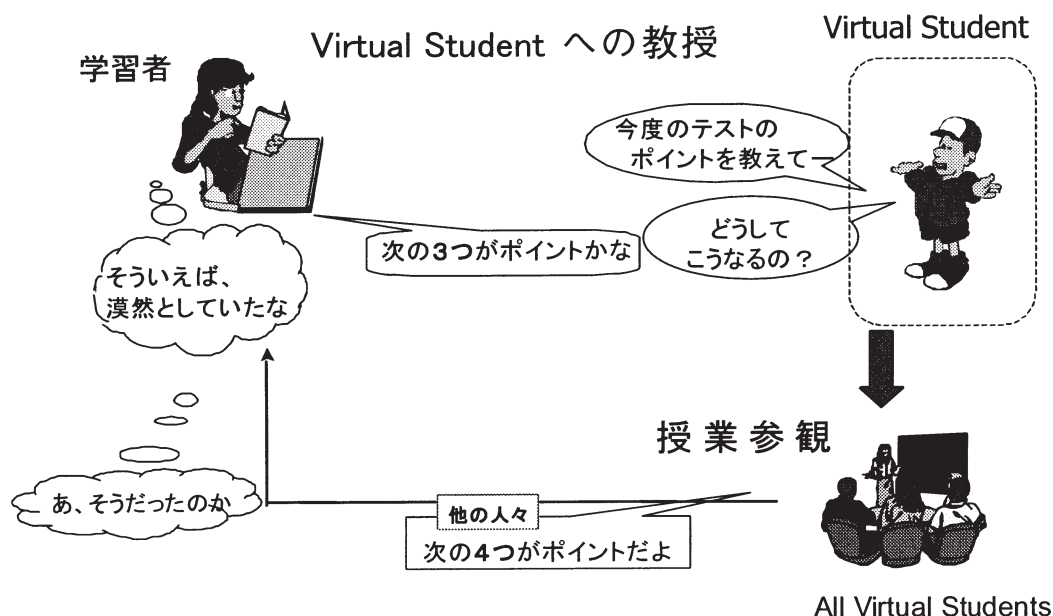


図1 仮想生徒へ教えて学ぶ

山 本 倫 也（吉川榮教授）

「エネルギー技術の教育と訓練のための分散型仮想環境の構成手法に関する研究」

平成14年3月25日授与

本論文は、計算機ネットワーク上で人工現実感環境を共有することのできる分散型仮想環境技術を、エネルギー技術の教育訓練の新しい手段として利用する方法を研究した結果をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 計算機を介する新たな協同作業方式として、分散型仮想環境技術が作業者に臨場感効果をもたらす技術であることを確認するため、原子力発電所の横型ポンプの分解組立訓練用システムTEC-MAPを開発した。次にTEC-MAPを用いて被験者実験を行い、実験中の被験者同士の会話記録と脳波解析装置で計測した脳波データから被験者の感情的側面を分析した結果、被験者に実際の訓練のような臨場感をもたらす得ることを確認し、分散型仮想環境が有効な教育訓練の手段となることを示した。
2. 大規模プラントの保守訓練に適用可能な分散型仮想環境を構成するため、(1) 人と仮想物体のインタラクションをペトリネット・シグナルモデルと称する新しい離散並行事象モデルを用いてシミュレーションする手法、(2) 階層サーバモデルを導入したネットワーク構成により仮想の大規模プラントを効率よくシミュレーションする手法、の2種類の新たなシミュレーション手法を考案した。
3. 上記2に述べたシミュレーション手法に基づき、プラント保守訓練用の分散型仮想環境を構成する2つの基盤ソフトウェアEX-DVEとNETCOMを開発した。そしてEX-DVE上での横型ポンプ分解組立訓練システムの構築と動作確認、およびNETCOM上でのポンプ流量確認試験システムの構築と動作確認により、双方の基盤ソフトウェアの有効性を確認した。
4. エネルギー教育への応用において、教師と学習者が現実的、記号的、抽象的世界を共有し、コミュニケーションと思考の媒体として利用できる分散型仮想環境の作成支援方法を提案した。
5. 特に、ネットワーク上の外部情報資源を取り込むことのできる仮想環境シミュレーション手法と、仮想環境シミュレーションにおける事象の動的変化の因果関係を整合的に自動制御する手法とを新たに導入することにより、種々の教育システムを作成可能な基盤ソフトウェアMALIONETを開発した。そしてMALIONETを用いて風力発電とプラスチックリサイクルを教育するシステム（下図）を作成して、MALIONETの容易な教材生成機能を確認した。

以上のように、本研究は分散型仮想環境技術を応用するエネルギー技術の新しい教育訓練法を提起し、そのための幾つかの基盤ソフトウェアを構成してその有効性を確認したもので、これらの知見はエネルギー技術の教育訓練の高度化に学術上、實際上、資するところが大きいと考えられる。

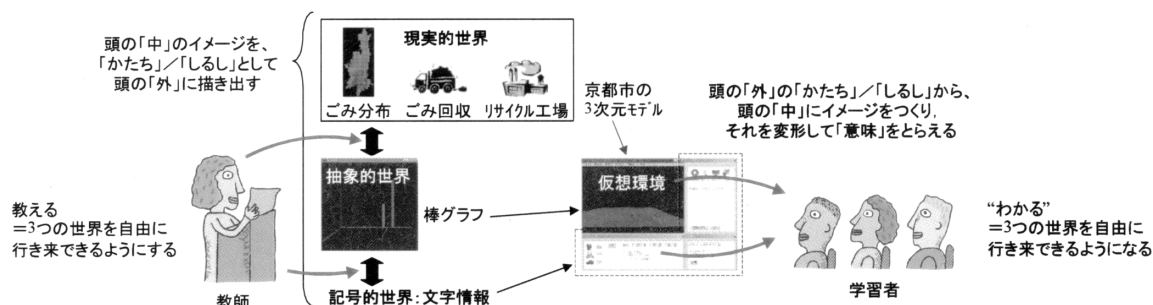


図 プラスチックリサイクル教育システムの概略

達 本 衡 輝 (塩津教授)

「Heat Transfer from Flat Plates in Pressurized He II」

(加圧超流動ヘリウム中の平板発熱体における熱伝達特性)

平成14年 3 月 25 日 授与

超流動ヘリウム (He II) 特に大気圧下の加圧He IIは優れた冷却特性をもつ量子流体であり、核融合炉や加速器などの大型超伝導マグネットの冷媒として期待されている。本研究論文は、従来熱が1次元的に輸送される場合の特性しか解っていなかった加圧He IIの2次元・3次元的な熱流動現象について、広いプールHe II中並びに種々の形状のダクト中の平板発熱体における熱流動現象を実験的・解析的に論じた結果をまとめている。

まず、種々の寸法の平板発熱体から熱が広いHe IIプール中に3次元的に伝わる場合の定常熱伝達と臨界熱流束を測定し、定常臨界熱流束の平板寸法依存性を明らかにし、実験結果の表示式を提示した。次に、種々の支持角度を持つ平板発熱体のHe I およびHe II中の定常熱伝達および定常臨界熱流束を実験的に求め、それらの方向依存性を明らかにしている。

さらに、熱が2次元的に拡大あるいは縮小して流れる場合の熱伝達を実験的に取り扱っている。熱が加圧He IIの入った側面断熱方形ダクト一端の平板発熱体から発熱体巾より大きな断面積をもつダクト中に拡がる場合、ダクト断面積が途中で急に拡大する場合、ダクト内に種々の大きさのオリフィスを設けた場合について、それぞれ定常熱伝達を実験的に求め、流路拡大・縮小率の影響を明らかにし、実験結果を記述できる表示式を提示した。また、発熱体がダクト一端ではなくダクト中央部内壁にある場合について、定常熱伝達を流路ギャップを変化させて測定し、熱が発熱体から直角方向に曲がりながらダクト両側に拡大・縮小して流れる場合の現象を明らかにし、実験結果を記述する表示式を提示した。こうした種々の場合について、さらに、発熱体に定常臨界熱流束より高い波高値をもつステップ状熱入力に加わった時の非定常熱伝達についても実験を行い、定常熱伝達曲線の外挿線上に有限の寿命を持つ準定常状態が存在してから発熱体温度が急上昇し膜沸騰に移行することを明らかにし、寿命とステップ熱流束の関係に対する流路の拡大・縮小率や流路ギャップ等の影響を明らかにし、その機構について考察を行っている。

実験的研究と平行して、He IIの熱流動をより詳細に解析するため二流体モデルと超流動乱流理論に基づく計算コード“SUPER-2D”を開発し、定常及び非定常熱流動解析を行って上述の実験結果と比較検討し、定常臨界熱流束解析結果が実験結果と10%以内で一致すること、非定常熱流動の解析結果は非常に現象が速い場合を除いて準定常状態の寿命の実験結果を記述できることを示し、このコードの有効性を確認している。数値解析により、流路が途中で拡がる場合には、拡大箇所ではHe IIに渦が発生し、この渦が熱輸送を阻害するため等価熱伝導率が一次元的に熱が伝わる場合に比べ減少すること、また、非定常の場合、ステップ高さが定常臨界熱流束より僅かに高い場合にはこの渦の影響を受けるが、ステップ高さが高くなるに従い渦の成長以前に温度分布が発達し膜沸騰に移行するようになるため、準定常状態の寿命は1次元的となること等を明らかにしている。

最後に、本論文で得られた成果を総括して結論としている。

堺 公 明（塩津教授）

「高速炉の冷却系に関する伝熱・流動研究」

平成14年3月25日授与

今後の高速炉の概念の選択及びその実現のために、安全性を確保した上で、経済性のより高い冷却系システムを構築することが重要となっている。本論文は、そのために特に重要と考えられる「円柱状構造物の流力振動」、「ナトリウムの沸騰開始過熱度」及び「重金属冷却高速炉の熱流動特性評価」に関する研究結果をまとめたものである。

まず、冷却系の安全性の観点から温度計などで破損の原因となる「円柱状構造物の流力振動」について、実験的並びに解析的に研究をおこなった。実験的研究では、流力振動に関する設計基準を実プラントに適用するにあたり、渦励振の回避・抑制評価条件、及び、乱流励振評価条件について、高レイノルズ数領域での適用性を実験的に検証した。また、解析的研究では、流体・構造連成による数値解析によって同期振動を再現するとともに、流れ方向振動の原因と言われる対称渦について、対称渦形成に必要な最小時間が渦励振の回避条件に相当することを見出し、設計基準に対する現象的な説明を提案した。

つぎに、高速炉の冷却系の安全性の観点から、急激な出力上昇につながる冷却材沸騰を防止するため、「ナトリウムの沸騰開始過熱度」について、実験的に研究をおこなった。プール沸騰条件において、酸素濃度が沸騰開始過熱度へ及ぼす影響について実験の結果、系圧力3kPa（液温863K）と7kPa（液温923K）については、沸騰開始過熱度に対する酸素濃度の依存性が現われたが、系圧力14kPa（液温973K）と25.9kPa（液温1023K）については、酸素濃度の依存性は現われないことが明らかになった。これは、加熱表面の酸化特性に温度依存性があるためと考えられ、高精度でコールドトラップ温度を制御した本研究によって、それらの依存性を示すことができた。さらに、流速の影響に関して強制循環実験を行い、沸騰開始過熱度は流速の増大にともなって低下することを確認した。また、表面に溝のある試験体では、明らかに沸騰開始過熱度は低下したが、依然、流速の影響がみられたことから、活性キャビティからの発泡を想定した現象的なモデルを提案した。本モデルによれば、水の条件において流速の増大とともに沸騰開始過熱度が増大すること、冷媒において沸騰開始過熱度が流速によらず一定となること、そして、ナトリウムにおいて、沸騰開始過熱度は、流速の増大にともなって低下することが、統一的に説明可能であることを示した。

最後に、より安全性と経済性の高い冷却系システムを構築する観点から、「重金属冷却自然循環高速炉の熱流動特性」について研究をおこなった。重金属冷却炉と体系が類似したヘリカルコイル型の蒸気発生器（SG）実験データを用いて多次元熱流動特性解析コードを検証した。重金属冷却炉としては、鉛-ビスマス冷却自然循環中小型炉が有望概念として選択されており、鉛-ビスマス冷却自然循環炉に特徴的な崩壊熱除去特性を評価することとした。自然循環炉は、定格条件にて自然循環流量が確保されていることから、流量喪失型の過渡事象を想定する必要がないこと、全般的に緩慢な温度変化挙動を示すことが明らかになった。また、完全自然循環高速炉について1次系に設置した崩壊熱除去系を用いた解析を実施した。温度分布が安定するまで、過渡的に自然循環流量が喪失する瞬間があるが、概ね十分な除熱が確保される見通しが得られた。

結論では、本論文で得られた成果を総括した。

古 本 淳 一 (津田教授)

「Observation of Turbulence Echo Characteristics and Humidity Profiles with the MU Radar-RASS」

(MUレーダー・RASSによる乱流特性および水蒸気プロファイルの観測)

平成14年3月25日授与

地球大気の大気圏では降雨、前線、台風など我々の生活に密接に関わる気象現象が起きている。その構造を知るためには大気の状態（風速、温度、湿度）を観測することが重要である。特に、集中豪雨などの時間変動が早い気象現象の天気予報精度を向上させるためには、これらを高い時間・高度分解能で観測することが極めて重要である。このうち風速に関しては、宙空電波科学研究センターのMUレーダーに代表される大気レーダーによる観測が広く行われている。MUレーダーは滋賀県信楽町に設置された大気観測用大型VHFレーダーであり、ピーク出力1MWを有するアジア域最大の大気レーダーである。一方、電波と音波を併用して温度を地上からリモートセンシングする計測技術として、RASS (Radio Acoustic Sounding System) が開発されている。RASSでは地上から人工的に発射された音波をレーダーで探査し、散乱電波のドップラー周波数偏移から音速を求め、さらに、音速の2乗が大気温度に比例することを用いて、温度の高度変化を高い時間・高度分解能で測定するものである。MUレーダーにRASSを応用したシステム (MUレーダー・RASS) では、対流圏、下部成層圏の風速及び大気温度を時間・高度分解能それぞれ数分および150mという高分解能で連続観測することが可能である。しかしながら水蒸気の高度分布の測定技術は、近年レーザーレーダーなどの技術が実用化されているものの、天候や昼夜に関わらず連続的に観測可能な測定技術の開発はいまだ発展途上なのが現状である。このような現状を踏まえ、本論文では、大気の振る舞いを決定する3要素（大気風速、温度、湿度）を同時に高分解能観測できるレーダーシステムの開発を目的とし、まず大気乱流強度の特性を明らかにし、さらにその結果から水蒸気量を測定する手法の開発を行った。

大気レーダーは発射電波を大気乱流により散乱させそのエコーを検出するものであるため、エコー特性を調べることで大気の大気乱流強度を推定することが可能である。この手法としてエコーの強度を用いる方法とエコースペクトルの広がり（スペクトル幅）を用いる方法が提唱されている。より一般的に行われているスペクトル幅法により乱流強度測定を行う場合、観測値には乱流以外の影響も含まれておりこれを精度よく補正することが困難であった。そこで、MUレーダーの多機能性を活かしてこの影響を取り除く新しい方法を考案し、この新手法により精度の高い乱流強度推定が可能であることを定量的に示した。

次に、エコー強度およびスペクトル幅法により推定される乱流強度の詳細な比較を行った。MUレーダー・RASSにより得られた高分解能の温度データを用いて乱流強度を推定し検討を行った結果、対流圏内ではエコー強度の高度構造が水蒸気量の高度勾配に強く依存していることを示した。

引き続き、この特性を利用することで、MUレーダー・RASSデータを用いて水蒸気プロファイルを推定する手法の開発を行った。本方法によって推定された水蒸気の高度分布を気球による同時測定結果と比較したところ良い一致を得ることができた。

さらにレーダーによる水蒸気測定精度を向上させるため、他測器のデータを補足的に用い水蒸気推定を拘束する解析アルゴリズムの改良を行った。GPSの受信電波から水蒸気量の高度積分値を得ることができることから、これを用いてレーダーによる水蒸気の高高度積分量を拘束することで、レーダーによる水蒸気の高高度分布を安定的に推定するアルゴリズムを開発した。こうして求められた水蒸気分布を、気象衛星「ひまわり」の雲画像及び気象レーダーの観測結果と比較したところ、良く一致したばかりでなく、従来の観測手法では捉えられなかった微細な構造を解明することに成功した。

本論文により開発された水蒸気推定法は今後気象現象の解明に有力な観測手段となることが期待されている。特に、気象庁が全国展開するレーダーネットワークへ応用を行い、推定値された水蒸気高高度分布を数値予報モデルに導入することにより、短期天気予報の精度向上に大きな寄与が期待される。また、宙空電波科学研究センターがインドネシア・スマトラ島の赤道直下に設置した赤道大気レーダーへの応用により、赤道域の気象現象が全球規模の気候変動へ寄与するメカニズムの解明が大いに期待できる。

浜 津 享 助（深尾教授）

「Development of Doppler Radars for Studying Aviation Weather in Terminal Area」
（ターミナルエリアの航空気象研究のためのドップラーレーダーに関する開発的研究）
平成14年3月25日授与

航空機の飛行安全は、気象と密接に関係している。低層ウィンドシヤーと呼ばれる地表付近の風の急変や、雲霧による低視界は、いずれも500m程度以下の高度で発生する局所的な現象で、しばしば大きな事故の原因になることが指摘されている。

雷雨や台風のように高度的、平面的に規模の大きな現象は、通常の気象レーダーで容易に観測することが可能であるが、上記のような空間規模が小さく、かつ短時間に大きく変化する現象をリモートセンシングすることは、従来困難とみられていた。本研究は、この課題に応えるために、ドップラー機能を生かして、航空機離着陸域（＝ターミナルエリア、空港から概ね半径50～60km）を中心とする低空域で発生するウィンドシヤーや雲霧の発生を検出・観測するレーダーを新たに開発し、その評価を行ったものである。低層ウィンドシヤーは、比較的強い降水を伴う現象であり、一方雲霧は降水粒子に比べて二桁程度小さな粒子から成り、両者の電波散乱特性は大きく異なる。このため、二種類のレーダーを開発し、前者には降水による電波の減衰が比較的少ないセンチ波、後者には微小粒子に対する後方散乱が大きくなるミリ波を用いた。

低層ウィンドシヤー検出用5.3-GHzドップラーレーダーは、空港を中心とする半径20km程度の範囲の低空を中心に、ターミナルエリアを三次元的に観測するレーダーである。レーダー受信信号から不要信号を排除して正確なドップラー計測を行うために、時間領域及び周波数領域を交互に変換しながら、各々の特徴を生かした信号処理をリアルタイムで行うシステムを実現した。また、レーダー近傍でもウィンドシヤーの検出が可能なアルゴリズムや予兆抽出機能等を新たに開発した。本機能を組み込んだレーダーは、既に国内5カ所の主要空港で実運用に入っており、低層ウィンドシヤーの検出率が95％に達することが明らかにされている。雲霧観測用の35-GHzドップラーレーダーもまた、半径20km～30km程度の観測範囲をカバーする。これには100kW程度の高出力の送信が必要になるが、この周波数帯では、コヒーレントな送信信号を生成できる送信管（例えば進行波管）の製作が難しいため、比較的高出力が得やすいマグネトロンを用いて、デジタル信号処理によってコヒーレント性を確保する方式を新たに開発した。また、実機を用いてフィールドで層状雲と霧の初期観測評価を実施し、所期の探知性能が得られること、及び霧の平面的・立体的な観測が可能であることを確認した。本レーダーの一部機能を組み込んだ実用レーダーも、既に国内で最も霧発生頻度の高い空港に設置され、航空交通監視等の実用分野で活用が期待されている。

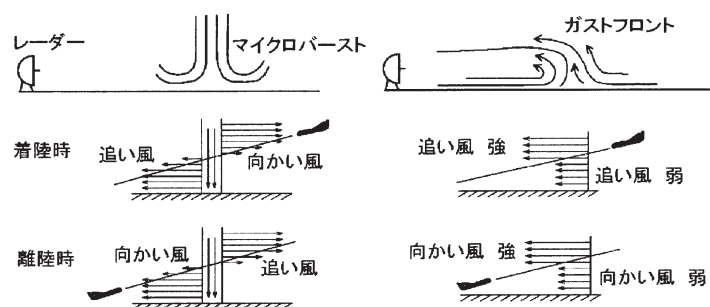


図1 低層ウィンドシヤー検出レーダーが対象とするウィンドシヤーの例

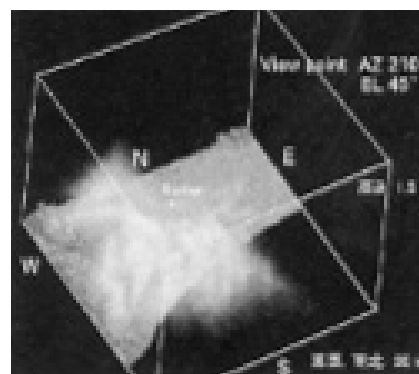


図2 雲霧観測レーダーの霧観測例

黒 部 憲 一（松波教授）

「Inherent Electrical Properties of Polycrystalline Silicon Solar Cells and Application for Thin Film Structures」

（多結晶シリコン太陽電池に固有な電気特性の解明と薄膜構造への応用）

平成14年 5 月 23 日 授与

エネルギー供給源多様化のために、再生可能エネルギーを用いる太陽光発電システムが重要なインフラストラクチャーに発展すると期待されているが、大規模導入時には、材料、歩留まり、廃棄物問題などが発生すると考えられる。本研究は、この問題を解決するために有利な「低品質シリコン（Si）基板上薄膜多結晶Si太陽電池」に着目し、必須とされる薄膜多結晶Si太陽電池の実現に向けて、多結晶太陽電池の電気的特性の面内分布を含む系統的な解析、高効率薄膜太陽電池作製に必要な寸法、物性値の把握、および高速かつ高品質の薄膜結晶成長技術の確立を図ったもので、6章からなる。

1. 多結晶（multi-crystalline）シリコン（Mx-Si）太陽電池における結晶粒界や不純物が電気的特性に与える影響を解明した。変換効率の異なるMx-Si太陽電池を100分割したサンプル全てのスイッチング特性から、少数キャリア寿命 τ の太陽電池面内分布を求めた。高効率セルでは τ の平均値が大きく、標準偏差が大きいことを見だし、この τ が粒界長密度によって大きく変化するので、セル面内で不規則に分布する粒界が τ の分布を大きくしていることを明らかにした。鉄（Fe）に起因する深いトラップが τ に影響を与えると推定し、粒界付近のFeの分布を知るために「可変取り込み領域SIMS（二次イオン質量分析）法」を考案した。詳細な解析から、粒界近傍の一定幅にFeが高濃度に存在すること、また、低効率セルでは高効率セルに比べて偏析が不十分であることも明らかにした。この結果、Mx-Si太陽電池の電気的特性には、「結晶領域と粒界領域を分離した定量評価」が必要であることを提案した。
2. 太陽電池の新しい等価回路を考案し、光を照射しないときの電流-電圧特性から、性能を評価する方法を提案した。理想因子（ n ）の異なる2つのダイオードを並列接続とし、結晶領域と粒界領域における直列抵抗の違いを考慮する「改良2-ダイオードモデル」を提案した。「逐次近似法によるフィッティングアルゴリズム」を用いて、精度の高いフィッティングを実現した。 $n=1$ に相当するダイオードの飽和電流密度から推測した τ は、スイッチング測定から求めた τ とよい一致を示し、これから推測できる開放電圧は、太陽電池の光電特性から求めた値とよい一致を示した。さらに、 $n=2$ に相当するダイオードの飽和電流密度は太陽電池の並列抵抗と相関があり、損失因子と見なすことができることを示した。
3. 薄膜多結晶Si太陽電池を作製する際に高効率を得るための条件について考察し、「効率均一化」が必要であることを示した。粒界長密度と粒径との関係を示した上で、ばらつきやすい粒径が効率に影響するのを抑制する必要性を示した。縞状構造および円柱状構造を持つユニットセルを想定し、「二次元シミュレーション」を行った。粒径、粒界側面再結合速度、 τ を変化させたときに太陽電池の効率のばらつきを少なくするための寸法、物性の下限値を求め、薄膜作製時の指針にできることを示した。
4. 1050℃におけるジクロロシランのプラズマ援用化学気相堆積（PECVD）法を用いて、多結晶Siの薄膜成長および評価を行った。基板近傍で効果的にプラズマを発生させるため「下流プラズマ発生方式」を考案し、これによって、プラズマ出力の増大に伴う成長速度の増加を実現した。薄膜Siの電気的特性を調べ、PECVD法は太陽電池に応用可能な薄膜を作製できることを示した。活性層厚20 μ mの薄膜太陽電池をPECVD法によって作製し、熱CVD法によって作製した同厚の薄膜太陽電池と電流-電圧特性を比較し、同条件ではPECVD法が高速成長の長所をもつことを示した。

将来が期待される薄膜Si多結晶太陽電池に関する基礎的研究で、本質的に複雑な系のため問題解決は困難であると予測されたが、積極的に取り組んだ。提案した評価法は十分実用できるものである。

永 里 善 彦（吉川榮教授）

「企業における社会との共生型事業展開のための社会情報技術の適用方法に関する研究」
平成14年5月23日授与

本論文は、エネルギー・環境問題や高齢化社会への貢献が求められる企業が社会との共生型事業を創出するため、社会情報技術を効果的に適用して幾つかの社会共生型事業案を導出する研究をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. エネルギー・環境問題や高齢化社会への対応が迫られる中で経済不況により閉塞感のある企業活動を活性化するため、「異質なものの相利協働」を趣旨とする「社会との共生」の概念に基づく共生型事業が今後の企業活動の方向と規定した。そして新たな事業企画や組織的取組みを創出する方法として、社会に潜在する暗黙知の発掘とその形式化を行うナレッジマネジメントと、内部に閉じた交流から外部との積極的な相互交流を行うコミュニティネットワークを基本概念とする社会情報技術の適用を新たに提起した。
2. 地球温暖化防止のために一層の拡大が望まれる分散型の省エネルギー・新エネルギー拡大の鍵を握る地方自治体及び中小企業の実態をアンケート調査しその拡大を阻害する要因を分析してコスト面の低下と情報提供の改善とを課題として導いた。次いで省エネルギーを促進するESCO事業や民間の活力を活かして公共事業の財政負担を軽減するPFI制度等を調査して、地方自治体・企業・住民・電気事業者が協働するコミュニティネットワークを構成して、新エネルギー事業の促進をネットワークサービスによって達成させる共生型事業方式を新たに提言した。また地域におけるエネルギー・環境問題の普及のための社会啓発用Webサイトを構築した。
3. 電力自由化により経営環境の変化への対応が迫られる電気事業がそのシーズを活かして社会との共生型事業を新規に展開する方向を高齢化社会に貢献する健康福祉分野と規定し、コミュニティネットワークによるナレッジマネジメント手法を展開して新規事業案を創出するフィールドスタディを行った。
4. 上記のフィールドスタディでは、文献調査やアンケート調査、社会統計分析などの机上でのハードな社会調査に加えるにとくに実地体験やグループインタビューのように実際の社会に参加するソフトな社会調査を行って、このような市場調査法がユーザの潜在ニーズに応える事業企画案導出に有用なことを見出だした。また、新たな事業企画案導出のためにA・Kピンカード法と称する発想支援法を新たに考案した。そして異分野のメンバーによるブレインストーミングを行って、具体的な事業ビジョンと幾つかの事業案を提起し、実際に採用された。
5. 先進諸国に共通する高齢社会の活性化に資する高齢者支援用福祉機器について、個別対応で多種少量生産のため割高な福祉機器の開発を国際化するマスカスタマイゼーションによってそのコストを低減させることを提案した。そのため福祉事業に携わる技術者、医療介護者、利用者が国際的に共用する福祉機器開発技術情報のデータベースの構成要件や情報サービスの形態等を検討し、インターネットベースの国際共同利用福祉機器開発技術情報システムの構成法を新たに提起し、そのデータベースサービスが実際に開始された。

以上のように、本研究はエネルギー・環境問題や高齢化社会に貢献する企業活動のために、ナレッジマネジメントとコミュニティネットワークを基本概念とする社会情報技術に基づく社会共生型事業案の創出法とその応用を研究したもので、これらの知見はエネルギー情報学の高度化に学術上、實際上、資するところが大きいと考えられる。

Tri Wahyu Hadi (津田教授)

「A study of tropical sea-breeze circulation using boundary layer radar data」

(境界層レーダーを用いた熱帯の海陸風循環の研究)

平成14年7月23日授与

大気境界層とは、地表面から地上1～3 kmの高度まで広がる、地表面の影響を直接受ける大気の領域を指す。大気境界層は、大気汚染物質を閉じ込めるなど、人間活動に密接な関わりを持つため、古くから研究されてきた。しかしながら、鉄塔の届く地表面から200mの範囲内を超えると連続観測の手段に乏しいため、未解決の科学的課題が未だに山積している。近年、高高度までの連続観測の手段として、ウィンドプロファイラーと呼ばれるレーダー用いられるようになってきた。これは大気の乱流によるエコーから風速を計測するものであり、さらに降雨の観測や音波と組み合わせての温度観測も行える。当センターでは、1984年設置の大型ウィンドプロファイラーMUレーダーを皮切りに、様々な大気観測レーダーを開発してきた。最近では、大気境界層の観測を主に行う小型のウィンドプロファイラーである境界層レーダーを精力的に開発しており、日本国内及びインドネシアに展開して観測を行っている。

本研究では、境界層レーダーを用いて主に熱帯の海陸風循環の研究を行った。海陸風とは、海と陸の温度差により駆動される、沿岸地帯の大気境界層内の循環であるが、熱帯での研究はまだ少ない。本研究ではまず、インドネシアのジャカルタ郊外に設置した境界層レーダーを用いた研究を行った(図1, 2)。その結果、海陸風は高度約3 kmまでと、中高緯度と比べて極めて高い高度まで広がっていることを見出し、さらに昼間の海風(地表付近で海から陸に向かう風)と陸風(上層で陸から戻る風)の間に形成された強いウィンドシアアが、ケルビン-ヘルムホルツ不安定を引き起こすことを見出した。次いで、同レーダーを用いて海陸風の季節変化、さらに気象衛星データと組み合わせて海陸風の広がりや海陸風前線の進行を調べた。その結果、海陸風は乾季に強いこと、海陸風は60km以上伝播して山岳に到達し複雑な地形に伴う循環と相互作用を起こすことを見出した。また、高度0.5km以上での海風が極大になる時刻は、地表での極大に数時間遅れ、夕刻になることがわかった。最後に、オーストラリア北西熱帯部のダーウィン市における境界層観測データの解析を行った。やはり海陸風的な循環が見出されたが、海風が極大になる時間が夜半過ぎであるという、これまでに報告されていない時間発展パターンが卓越していることを見出した。全球でグリッド化された客観解析データと比較することで、この現象は、通常海陸風に比べて広範囲に広がる、豪州北西部の半島全体に広がる熱低気圧の循環によることが示された。熱低気圧に伴う夜間の循環強化は、最近シミュレーションにより存在が示唆されたものであり、その初めての観測例となる。今後は、長期のモニタリングとさらなる観測点の展開により、熱帯大気境界層の理解が一層進み、人間活動との関わりという視点からの知見も蓄積されていくことが期待される。

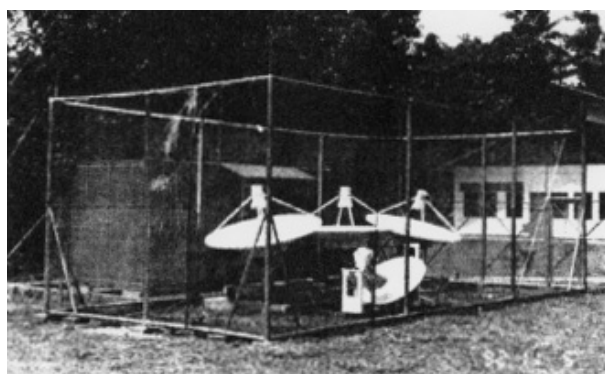


図1 インドネシア・スルボンの境界層レーダー

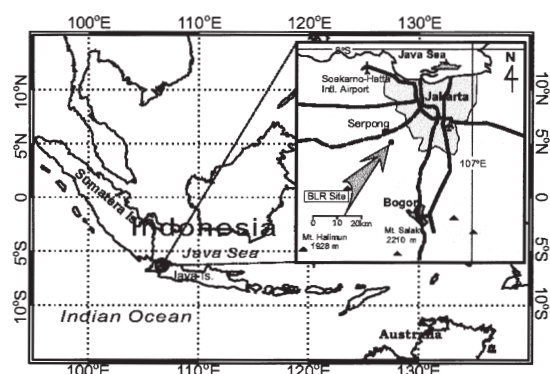


図2 レーダーサイトの位置(矢印)

種 田 和 正（森広教授）

「Internet Traffic Control for Best-Effort and Guaranteed Services」

（ベストエフォートおよび保証サービスのためのインターネットトラフィック制御）

平成14年9月24日授与

1. 研究内容と意義

本研究は、インターネット上のトラフィック制御のための制御アルゴリズム及び制御対象であるトラフィックの特性に関する研究結果をまとめたものである。トラフィック制御は経路制御と輻輳制御に分けられ、経路制御とはトラフィック（パケットの流れ）の経路を切替える制御であり、輻輳制御とはインターネット上の過負荷な箇所へトラフィックが流れ込むことを押さえる制御である。現在のインターネットが提供するベストエフォートサービスでは、インターネット利用者はインターネット上のリソース（伝送帯域やバッファ等）を共有して利用するが、将来のリアルタイム通信のために提供される保証サービスでは、各利用者にリソースの一部を独占的に割当てることにより、パケットの遅延時間の上限を厳密に保証する。上記2種類のサービスは、各々に固有の経路制御と輻輳制御を必要とする。

一般に、トラフィックが最短（時間）経路を通るように経路制御を実現するには、両サービス共通の問題として、次の二つの研究課題がある。

（1）どのような情報を使って、どのように経路制御するか？

（2）必要な情報をどのようにして効率的にルータ間で交換するか？

経路制御問題が動的になると、一般に、待ち行列理論によるアプローチだけでは解決できない。本研究では、（1）に対して、最適化アルゴリズムを使った数値的なアプローチにより最適経路制御方法に対する新たな特徴を明らかにしている。本研究の結果は、並列待ち行列へのジョブ割当問題において、ジョブ処理時間が到着時に与えられる場合において有効である。また、（2）に対して、蟻コロニーの動作に触発された経路制御アルゴリズム（AntNet）をベースにして、人工蟻の動作を工夫することにより、より効率的な情報交換が可能であることを示している。一方、輻輳制御は提供するサービスによって異なり、保証サービスではネットワーク内のルータ（アドミッション制御）で、ベストエフォートサービスでは利用者のホスト（TCPプロトコル）で実現される。アドミッション制御は利用者によるリソースの独占的利用を許可するか否かを判断するがその課題は、リソース要求が非常に多いとスループットと利用者間の公平性がともに劣化することである。本研究では、公平性とスループットの二つの評価尺度に対してバランスのとれた制御方法を示す。他方、TCPによる輻輳制御では、トラフィック負荷を軽減するためにホストからの送信レートを下げる時間の長さとその大きさを決定する必要があるが、このためにはインターネットのトラフィック特性を把握することが重要である。インターネットのトラフィックは長時間依存性を持つことが指摘されている。本研究では、TCPの輻輳制御自体が長時間依存トラフィックを生成することを示すとともに、長時間依存TCPトラフィックには二つの統計的特徴があることを示す。従来、TCPは短い時間スケールのトラフィック変動にのみ関わっていると考えられていたが、数時間に及ぶスケールで関わっていることを示した点で意義がある。

2. 研究を通しての感想

インターネットのトラフィック制御技術の進歩は非常に速い。様々なアイデアが数年の時間スケールで表れては消えていく。また、研究テーマのトレンドもダイナミックに変化する。従って、インターネットのトラフィック制御技術を考える場合、理論的な研究でなければ、一つの研究対象に対して時間をかけ過ぎるべきではないし、問題の前提条件を適宜見直す必要があることを感じた。

【論文博士一覧】

原田 泰志	電力系統監視制御システムにおける発電機出力指令制御機能の高度化の研究	平成14年 1 月 23 日
山道新太郎	高誘電率 (BA, Sr) TiO_3 系薄膜の作成と Gbit 級 DRAM セルキャパシタへの応用に関する研究	平成14年 1 月 23 日
河本 正	電力分野の絶縁問題および環境問題への数値電磁界計算法の応用	平成14年 3 月 25 日
後藤 康仁	Development of Novel Metal Ion Beam Systems with Liquid-Metal Ion Sources (液体金属イオン源を用いた新奇金属イオンビーム装置の開発)	平成14年 3 月 25 日
小池 淳	「3次元シーンのモデルに基づく動画像の高能率符号化の研究」	平成14年 3 月 25 日
的場 直人	Study of Image and Video Transmission over Mobile Communication Channel (移動通信における静止画像及びビデオ伝送に関する研究)	平成14年 3 月 25 日
今中 良一	「再生専用光ディスクと互換可能な書き換え光ディスクシステムの研究」	平成14年 5 月 23 日
久世 直洋	InAs/AlGaAsSb系量子井戸構造の物性と高感度ホール素子への応用	平成14年 7 月 23 日
渡辺 靖彦	Integrated Analysis of Image, Diagram, and Text for Multimedia Document Retrieval (マルチメディアドキュメント検索のための画像、図、テキストの統合解析)	平成14年 9 月 24 日